

PEMBERDAYAAN SUMBER DAYA HAYATI TANAH Mendukung PENGEMBANGAN PERTANIAN RAMAH LINGKUNGAN

Empowerment of Soil Biology Resource to Support Ecofriendly Agricultural Development

Subowo, G. dan Jati Purwani

Balai Penelitian Tanah
Jalan Tentara Pelajar No. 12, Bogor 16114
Telp. (0251) 8336757, Faks. (0251) 8321608
E-mail: balittanah@litbang.deptan.go.id

Diajukan: 12 Juni 2013; Disetujui: 16 Oktober 2013

ABSTRAK

Pemberdayaan sumber daya biotik maupun abiotik tanah dapat meningkatkan efisiensi sistem produksi pertanian. Sumber daya biotik tanah meliputi flora dan fauna tanah. Pengelolaan sumber daya biotik tanah dengan mengurangi asupan dari luar dapat mencegah perubahan ekosistem yang ekstrem. Dalam rangka melestarikan sistem produksi yang mandiri dan ramah lingkungan, penetapan parameter lingkungan harus jelas dan terukur dengan memerhatikan produktivitas yang akan dicapai dan konservasi sumber daya. Penggunaan lahan harus sesuai daya dukungnya, neraca hara seimbang, mencegah erosi tanah pada level di bawah *tolerable soil loss*, dan menekan emisi CO₂ di bawah ambang batas toleransi. Pengendalian hama dan penyakit dilakukan secara hayati sehingga mencegah cemaran polutan pada produk maupun hasil samping di bawah ambang batas. Selain itu, pelaku daur ekosistem tanah lengkap (produsen, konsumen, dan pengurai) dan tidak terjadi gangguan lingkungan. Populasi fauna tanah yang terancam akibat sistem pertanian intensif perlu dipulihkan dengan memberikan bahan organik sebagai sumber hara dan energi, sehingga dapat berperan dalam konservasi bahan organik tanah dan memperbaiki sifat fisik tanah. Penggunaan pupuk anorganik, organik, dan hayati secara terpadu, menghindari pestisida sintesis, dan adanya cacing tanah endogaesis merupakan indikator pertanian ramah lingkungan.

Kata kunci: Sumber daya hayati lokal, fauna tanah, bahan organik, ramah lingkungan

ABSTRACT

Empowerment of biotic and abiotic resources of soils would increase agricultural production systems efficiency. Soil biotic resources include soil flora and fauna. Biotic soil resource management by reducing the outside inputs could prevent extreme changes in ecosystems. To preserve the environmentally friendly production system, determination of environmental parameters must be associated with resource management in accordance with the current needs. Land use must be appropriate with land suitabilities and sustainable production by taking into account nutrient balance, soil erosion under tolerable soil loss, and preventing CO₂ emissions. Pests and diseases are controlled biologically thus to eliminate chemical contamination on agricultural products (including waste). Nutrient-energy cycling in soil ecosystem goes

well and no environmental disturbances. Soil fauna threatened by intensive farming systems need to be restored by applying organic matter as a source of nutrients and energy, so it can play a role in the conservation of soil organic matter and improve soil physical properties. The use of inorganic, organic, and biological fertilizers in integrated manner, avoiding synthetic pesticides, and ensuring the presence of endogaesis earthworms are indicators of sustainable agriculture.

Keywords: Local biotic resources, soil fauna, organic matter, ecofriendly

PENDAHULUAN

Sebagai negara kepulauan yang berada di daerah tropis basah dan dalam cincin gunung api (*ring of fire*) yang aktif, Indonesia memiliki laju pasokan mineral vulkan maupun marin yang tinggi. Dinamika perubahan ekosistem berlangsung intensif, sehingga pengembangan pertanian berbasis sumber daya lokal, mandiri, dan ramah lingkungan perlu digalakkan.

Pemberdayaan sumber daya hayati yang berperan dalam menjaga keseimbangan ekosistem dengan meminimalkan asupan dari luar, dapat mempertahankan daya dukung alamnya. Pendekatan pengembangan pertanian hendaknya mengikuti dinamika perubahan ekosistem setempat sehingga mampu memaksimalkan nilai tambah sumber daya yang tersedia. Lahan dengan tingkat kesuburan tanah tinggi dapat dimanfaatkan dengan pendekatan produktivitas tinggi (*high yield productivity*), sedangkan lahan dengan kesuburan tanah rendah dapat digunakan dengan pendekatan produktivitas sedang.

Laju pelapukan dan pencucian hara yang tinggi di daerah tropis basah mengakibatkan lahan didominasi oleh tanah-tanah tua dengan tingkat kesuburan rendah. Tanah tua umumnya dibangun oleh oksida-oksida logam, pH masam, dan miskin hara kation seperti N, Ca, Mg, dan Zn. Demikian pula hara P banyak tersemat sehingga ketersediaannya rendah, meskipun P potensialnya tinggi. Penurunan jumlah dan kualitas bahan organik serta

aktivitas biologi dan keanekaragaman spesies fauna tanah merupakan bentuk degradasi tanah yang penting di daerah tropis basah (Lal 1995). Terganggunya aktivitas hayati tanah menyebabkan terhentinya proses keseimbangan daur hara dan daur energi tanah, sehingga tanah menjadi mati dan tidak mampu memenuhi kebutuhan hara tanaman (terdegradasi) (Subowo 2012).

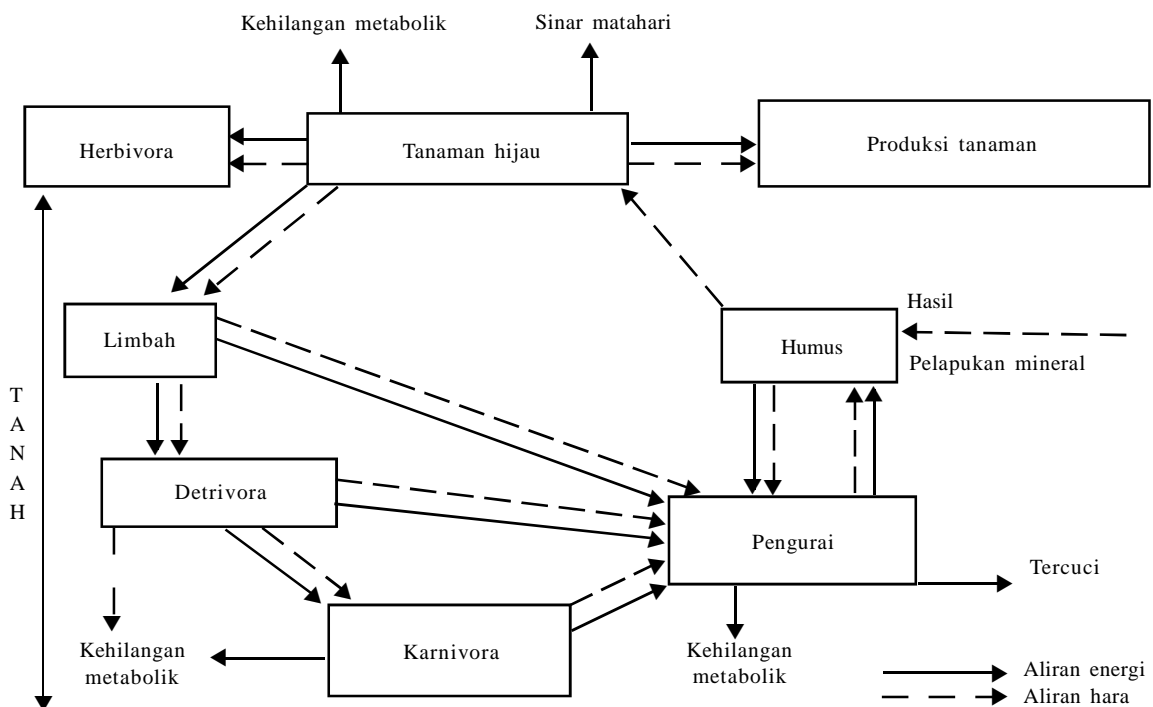
Pengembangan pertanian intensif untuk mencapai produktivitas tinggi secara cepat mendorong pengelolaan usaha tani mengandalkan pupuk anorganik dan pestisida kimia sintetis serta varietas unggul berumur genjah. Pertanian intensif menyebabkan organisme autotrof tanah (tumbuhan dan mikroba) yang membutuhkan hara anorganik berkembang pesat, sementara organisme heterotrof (fauna) yang membutuhkan bahan organik sebagai sumber energi menjadi terdesak. Populasi organisme tanah didominasi oleh kelompok mikroba (fungi, bakteri). Proses daur energi dan hara di dalam tanah menjadi pendek yang banyak diperankan oleh kelompok produsen dan pengurai (*decomposer*), sehingga akan semakin mempercepat laju penyusutan kandungan bahan organik tanah.

Swift *et al.* (1979) menyatakan dekomposisi bahan organik merupakan proses yang kompleks di antara organisme tanah (makro/fauna dan mikroorganisme), faktor lingkungan (temperatur dan kelembapan), dan jenis bahan organik. Apabila di dalam tanah tidak tersedia organisme pengurai/dekomposer, bahan organik akan tetap utuh dan dapat mengganggu sistem produksi pertanian. Oleh karena itu, kondisi ekosistem tanah perlu dipulihkan melalui pengkayaan kandungan bahan organik untuk menarik fauna tanah kembali ke dalam tanah.

Sebagai wilayah yang memiliki keanekaragaman hayati yang tinggi, Indonesia perlu memberdayakan potensi sumber daya hayati tanah agar dapat berperan dalam meningkatkan kesuburan dan produktivitas tanah secara lestari dan ramah lingkungan.

Pengendalian pengurai bahan organik secara baik sesuai tahapannya akan menjamin nilai fungsi bahan organik sebagai sumber energi dan hara, memperbaiki sifat fisik tanah, dan menjaga kelangsungan hidup organisme tanah dalam kurun waktu yang panjang (Gambar 1). Perpanjangan daur energi dan hara secara tertutup berperan penting dalam mengurangi laju penyusutan bahan organik tanah, meningkatkan kesuburan tanah, dan menahan laju kehilangan hara/pupuk dalam ekosistem tanah. Sumber daya hayati lokal yang merupakan hasil seleksi alami yang berlangsung dalam kurun waktu yang panjang akan menjamin kelanggengan stabilitas ekosistem setempat. Pembedayaan mikroba penambat N₂ udara dan mikroba pelarut P untuk memasok hara N dan P tanaman, yang merupakan kendala utama bagi tanah-tanah di daerah tropis, sangat baik untuk didayagunakan.

Sinkronisasi pengelolaan sumber daya yang ada selain dapat mengurangi masukan unsur lain dari luar, juga mencegah timbulnya gangguan lingkungan/ekosistem setempat yang ekstrem. Pengurangan masukan dari luar dalam budi daya pertanian akan mengurangi dampak lingkungan dan menurunkan biaya produksi yang saat ini menjadi masalah krusial bagi petani. Tulisan ini memberikan informasi tentang pentingnya pemberdayaan sumber daya hayati tanah lokal, terutama fauna tanah, sehingga dapat meningkatkan sistem produksi pertanian yang lestari dan ramah lingkungan.



Gambar 1. Daur energi dan hara dalam ekosistem tanah (modifikasi dari Wallwork 1970).

KONDISI SUMBER DAYA HAYATI TANAH SAAT INI

Energi matahari, air hujan, dan mineral yang melimpah mendukung tingginya keanekaragaman hayati (*bio-diversity*) tanah di Indonesia. Organisme tanah memiliki peran penting dalam proses pembentukan tanah. Sebagian besar keanekaragaman hayati dalam suatu ekosistem merupakan organisme tanah yang berperan langsung maupun tidak langsung dalam daur hara dan air, timbulnya hama-penyakit, dan pertumbuhan tanaman (Estrade *et al.* 2010).

Peran masing-masing kelompok organisme tanah dalam proses pembentukan ekosistem tanah disajikan pada Tabel 1. Mikroflora yang merupakan organisme autotrof berperan mengikat hara bebas dan menghasilkan senyawa organik, dan bersama mikrofauna memperkuat pembentukan agregat tanah. Mesofauna dan makrofauna yang merupakan organisme heterotrof menghasilkan kotoran (*fecal pellet*) dan biopori dalam berbagai ukuran, yang berperan penting dalam penyimpanan dan pergerakan air, juga sebagai tempat berkembangnya akar. Dalam sistem usaha tani pertanian intensif, fauna tanah kelompok detritivora dan karnivora mengalami degradasi, sehingga perbaikan alami sifat fisik tanah tidak berlangsung sebagaimana mestinya. Abbot *et al.* (1979) dalam McCredie *et al.* (1992) menyatakan, pada lahan budi daya, populasi fauna tanah yang memiliki ukuran panjang lebih dari 2 mm mengalami penurunan, sehingga sifat fisik tanah mengalami kemerosotan sangat tajam.

Hasil penelitian Subowo *et al.* (2011) menunjukkan, pertanaman kedelai di tanah Ultisol dengan tampilan vegetasi subur memiliki kepadatan populasi maupun jenis fauna tanah yang lebih tinggi dibanding pada lahan dengan tampilan vegetasi sedang dan kurang subur. Total populasi fauna tanah pada tanah lahan kering tanpa olah

tanah (TOT) lebih tinggi dibanding populasi fauna tanah pada lahan yang diolah intensif. Organisme tanah yang memiliki korelasi tertinggi dengan hasil kedelai adalah cacing tanah ($R^2 = 0,85$).

Selanjutnya Subowo *et al.* (2012) melaporkan, cacing tanah mulai bermigrasi ke dalam tanah pada lahan baru apabila tersedia bahan organik. Selain itu, mikroba tanah fungsional lebih cepat masuk ke lahan apabila aerasi tanah baik. Pemulihan populasi fauna tanah setelah 2 tahun pembukaan lahan secara manual lebih cepat dibandingkan pada lahan yang dibuka dengan menggunakan alat berat (Subowo *et al.* 1988). Linqvist *et al.* (1997) menyatakan, penyematan P meningkat dari 55 mg P/kg menjadi 245 mg P/kg bila diameter agregat tanah menurun dari 3,4 mm menjadi 0,37 mm. Dihasilkannya makroagregat dari kotoran cacing tanah (kascing) yang berukuran besar menurunkan kapasitas tanah menyemat P sehingga P menjadi tersedia. Hal ini menunjukkan bahwa tingginya populasi maupun jenis fauna tanah akan meningkatkan kesuburan tanah untuk produksi pertanian.

Untuk memperkaya populasi hayati tanah perlu ditambahkan bahan organik serta perbaikan aerasi tanah. Hamim *et al.* (2009) meneliti aplikasi pupuk hayati selama 3 tahun menggunakan bakteri penambat N_2 bebas *Azospirillum* sp. dan *Azotobacter* sp. serta bakteri pelarut fosfat *Pseudomonas* sp. dan *Bacillus* sp. di rumah kaca dan di lapangan pada tanaman jagung, padi gogo, tomat, dan kentang. Hasilnya menunjukkan respons perlakuan terhadap hasil sangat rendah jika tidak disertai pemberian sumber nutrisi seperti kompos dan pupuk anorganik. Pada tanah yang mengandung cacing, tanah telah siap digunakan untuk produksi pertanian. Banyak peneliti menyatakan bahwa cacing tanah endogaeasis dapat digunakan sebagai indikator tingkat kesuburan tanah, karena pada tanah yang subur banyak ditemukan cacing tanah.

Tabel 1. Peran organisme tanah dalam proses pembentukan ekosistem tanah.

Kelompok organisme tanah	Daur hara	Struktur tanah
Mikroflora	Membentuk bahan organik Mineralisasi dan immobilisasi hara	Menghasilkan senyawa organik dan memperkuat agregat tanah
Mikrofauna	Mengendalikan populasi bakteri dan fungi Mengikat hara	Membentuk struktur agregat tanah dengan berinteraksi dengan mikroflora
Mesofauna	Mengendalikan populasi fungi dan mikrofauna Mengikat hara Memecah sisa-sisa tanaman	Menghasilkan kotoran (<i>fecal pellet</i>) Membentuk biopori Merangsang dekomposisi bahan organik
Makrofauna	Memecah sisa-sisa tanaman Merangsang aktivitas mikroba	Mencampur bahan organik dan mineral Menyebarkan bahan organik dan mikroorganisme Menghasilkan biopori Merangsang dekomposisi bahan organik Menghasilkan kotoran

Sumber: Hendrix *et al.* (1990) dalam Coleman dan Crossley (1996).

PEMBERDAYAAN SUMBER DAYA HAYATI TANAH UNTUK PERTANIAN RAMAH LINGKUNGAN

Masalah utama pada usaha tani di kawasan tropis basah adalah rendahnya kandungan hara tanah, ketersediaan bahan organik tanah, dan kemampuan tanah menahan air (Williams dan Joseph 1976). Pemberian bahan organik ke dalam tanah akan membantu mengurangi erosi, mempertahankan kelembapan tanah, mengendalikan pH, memperbaiki drainase, mencegah pengerasan dan retakan, meningkatkan kapasitas pertukaran ion, dan memperbaiki aktivitas biologi tanah (Vidyarthi dan Misra 1982).

Pada tanah Latosol Bogor, pembenaman jerami padi sebanyak 5 t/ha/musim selama empat musim tanam dapat mensubstitusi kebutuhan K tanaman, memperbaiki kesuburan kimia dan fisika tanah, serta meningkatkan hasil padi sawah (Adiningsih 1984). Tingginya curah hujan dan pelapukan mengakibatkan hara N banyak tercuci dan P tersemat oleh oksida logam dalam tanah. Residu pemberian pupuk N (urea) sebanyak 120 kg/ha/musim selama dua musim tanam tidak mampu meningkatkan hasil tanaman kedelai yang ditanam pada musim berikutnya (Suhartatik *et al.* 1992). Pasokan N dari hasil penambatan N₂ udara oleh mikroba tanah akan sangat mendukung efisiensi usaha tani. Mikroba pelarut P yang tersemat juga dapat meningkatkan ketersediaan P *in situ* untuk pertumbuhan tanaman. Pemberdayaan sumber hara lokal oleh mikroba tanah ini selain dapat meningkatkan efisiensi sistem usaha tani, juga mengurangi pasokan hara dari luar dan bersifat ramah lingkungan.

Populasi mikroba dalam tanah akan meningkat jika tersedia sumber karbon untuk energi. Sejumlah besar bakteri terdapat dalam tanah, tetapi karena ukurannya kecil maka biomasanya lebih kecil. Actinomycetes memiliki ukuran lebih besar (>10 kali) dari bakteri, namun dalam tanah populasinya lebih sedikit. Jumlah populasi jamur lebih kecil, tetapi mendominasi biomassa tanah ketika tanah tidak terganggu. Mikroba membutuhkan pasokan bahan organik aktif secara teratur untuk bertahan hidup di dalam tanah.

Dalam jangka panjang, tanah yang tidak diolah memiliki populasi mikroba, bahan organik, dan simpanan karbon yang lebih tinggi dibandingkan tanah yang diolah secara konvensional. Sebagian besar mikroba cenderung dalam keadaan tidak aktif, terutama pada tanah yang digarap/diolah. Bakteri, Actinomycetes, dan protozoa lebih tahan terhadap gangguan tanah daripada jamur, sehingga populasinya lebih dominan pada tanah yang diolah, sementara populasi jamur dan nematoda cenderung dominan pada tanah yang tidak diolah (Horman dan Islam 2010).

Jumlah populasi organisme/mikroorganisme tanah dan biomassa yang dihasilkan disajikan pada Tabel 2. Tampak bahwa organisme tanah dapat menyumbang bahan organik dalam tanah, yang terdiri atas organisme hidup dan residu yang mati serta humus.

Sekitar 80–90% mikroorganisme tanah berada pada permukaan (Hattori 1973). Beberapa bakteri menghasilkan *extracellular polysaccharida* yang berinteraksi dengan partikel liat membentuk polisakarida kompleks yang dapat bertahan sampai bakteri mati. Eksopolisakarida (EPS) dapat digunakan sebagai bahan aktif bioamelioran pada bahan tanah tekstur berpasir. Aplikasi *Azotobacter* sp. penghasil EPS pada tanaman selada dapat meningkatkan bobot tajuk 68,2% dibandingkan dengan kontrol. Peningkatan hasil tersebut disebabkan oleh membaiknya porositas di sekitar rizosfer dan perakaran dan meningkatnya serapan unsur hara makro dan mikro akibat kompleksasi oleh EPS yang mobil (Hindersah *et al.* 2009).

Tanah-tanah pertanian intensif di kawasan tropis basah umumnya memiliki kandungan bahan organik rendah (< 2%), pH tanah masam, dan populasi fauna tanah rendah. Wambeke (1992) menyatakan nilai konstanta laju dekomposisi bahan organik tanah pasir dengan temperatur isohipertermik di Nigeria (tropis) empat kali lebih tinggi dibanding di Inggris (subtropis). Kecepatan laju dekomposisi bahan organik (k) pada hutan di kawasan tropis mencapai nilai 4, selanjutnya di hutan cemara Amerika Serikat bagian timur (subtropis) 0,25, dan di hutan cemara dataran tinggi nilainya 0,02 (Olson 1963 dalam Coleman dan Crossley 1996). Las dan Setiorini (2010) melaporkan ±73% lahan pertanian di Indonesia memiliki kandungan C-organik tanah rendah (kurang dari 2%). Sementara Sanchez (1976) menyatakan rendahnya kandungan bahan organik tanah di daerah tropis disebabkan oleh suhu yang tinggi dan cepatnya laju dekomposisi.

Pada tanah tropis basah, setelah lahan dibuka dan tanah diolah, kandungan humus menyusut dengan cepat dan habitat fauna tanah menjadi rusak, sehingga kesuburan tanah merosot tajam (Martin 1991). Sudriatna dan Subowo (2007) melaporkan, pemberian bahan organik 5 t/ha pada pertanaman tomat selama 4 bulan di rumah kaca tidak berpengaruh nyata terhadap pertumbuhan kacang hijau yang ditanam pada musim berikutnya. Hal ini karena perombakan bahan organik hanya dilakukan oleh mikroba dekomposer tanah, sehingga fungsi bahan organik untuk memperbaiki fisik tanah seperti aerasi dan pembentukan makroagregat tanah oleh fauna tanah tidak dapat berlangsung. Peningkatan efisiensi penggunaan

Tabel 2. Jumlah relatif dan biomassa organisme tanah pada kedalaman 0–15 cm.

Organisme	Populasi (CFU/g)	Biomassa (g/m ²)
Bakteri	10 ⁸ –10 ⁹	40–500
Actinomycetes	10 ⁷ –10 ⁸	40–500
Fungi	10 ⁵ –10 ⁶	100–1.500
Alga	10 ⁴ –10 ⁵	1–50
Protozoa	10 ³ –10 ⁴	Bervariasi
Nematoda	10 ² –10 ³	Bervariasi

Sumber: Horman dan Islam (2010).

bahan organik untuk kesuburan dan produktivitas tanah perlu diupayakan dengan memerhatikan fungsi bahan organik yang tidak hanya dalam hal keharaan, tetapi juga sebagai pembenah tanah, sumber hara, dan sumber energi bagi organisme tanah.

Pemberdayaan fauna tanah dapat memperbaiki sifat fisik tanah dan mengendalikan bahan organik tanah untuk mendukung sistem produksi pertanian yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. Pelepasan hara/mineral diawali dengan mineralisasi melalui pelapukan/perombakan melalui proses fisiko-kimia ataupun biologi yang menghasilkan unsur-unsur pembentuknya dalam bentuk ion (kation/anion). Scholes *et al.* (1994) menyatakan, untuk memperbaiki dan mempertahankan kesuburan tanah di daerah tropis dapat dilakukan dengan memanipulasi populasi biologi tanah. Masih sedikit penelitian peran cacing tanah dalam ekosistem tanah pertanian di daerah tropis dan responsnya terhadap kegiatan pertanian modern (Reddy *et al.* 1995).

Pengelolaan Sumber Daya Lahan dalam Pertanian Ramah Lingkungan

Penyebab terjadinya degradasi lahan pada tanah pertanian intensif antara lain adalah menurunnya kualitas fisik tanah akibat tidak tersedianya fauna tanah. Upaya pemulihan kesuburan fisik tanah dalam jangka pendek dilakukan dengan pengolahan tanah secara intensif. Akibatnya, pemulihan kesuburan fisik tanah secara alami oleh fauna tanah tidak berlangsung, sehingga degradasi tanah semakin meluas serta biaya produksi makin tinggi. Sebanyak 64% cacing tanah mati akibat pengolahan tanah menggunakan *rotary harrow* di padang rumput Swedia (Bostrom 1995 dalam Estrade *et al.* 2010). Kerusakan sifat fisik tanah terjadi akibat tingginya laju pelapukan, erosi, dan iluviasi/eluviasi liat, serta tidak adanya fauna tanah yang mampu memperbaiki aerasi tanah, stabilitas agregat, dan konservasi C organik tanah.

Tanah lapisan atas memiliki struktur lepas, kandungan bahan organik rendah, dan terdapat akumulasi liat di lapisan bawah. Erfandi *et al.* (2004) menyatakan pemberian bahan organik pada tanah Ultisol dapat memperbaiki berat isi, pori aerasi, air tersedia, dan stabilitas agregat tanah. Lebih dari 50% pembentukan agregat tanah di Eropa dilakukan oleh cacing tanah, sehingga dapat meningkatkan ruang pori, kapasitas tanah menahan air, dan laju infiltrasi (Stork dan Eggleton 1992). Sementara itu Subowo *et al.* (2012) melaporkan, reklamasi tanah bekas penambangan sistem terbuka sampai 2 tahun reklamasi belum ditemukan cacing tanah dan setelah 5 tahun reklamasi ditemukan cacing tanah dengan populasi yang lebih rendah dibanding pada lahan asli (Tabel 3).

Liang-liang cacing tanah dan fauna tanah lainnya dapat meningkatkan laju infiltrasi dan perkolasi air, sehingga mengurangi aliran permukaan dan erosi tanah. Subowo (2002) menyatakan, inokulasi cacing tanah

geofagus *Pheretima hupiensis* yang diikuti pemberian bahan organik secara vertikal sampai pada lapisan argilik pada tanah Ultisol dapat menurunkan berat isi tanah. Populasi cacing tanah berkorelasi nyata dan negatif dengan ketahanan tanah dan berkorelasi positif dengan kadar air tanah. Hal ini menunjukkan bahwa cacing tanah dan bahan organik mampu menurunkan kepadatan tanah dan meningkatkan air tersedia bagi tanaman.

Cacing tanah geofagus mampu mencerna tanah dan melepaskannya kembali dalam bentuk kotoran (kascing) yang memiliki stabilitas agregat tinggi, selain dapat memperbaiki aerasi tanah dan mengembalikan kandungan liat dari lapisan bawah ke lapisan atas. Demikian juga aktivitas pencernaannya mampu mencampur bahan organik dan mineral tanah. Cacing tanah juga dapat mencegah kehilangan bahan organik akibat erosi dan pencucian. Tiunov *et al.* (2001) menyatakan, dinding liang cacing tanah kaya akan jenis dan jumlah biomassa dari nematoda, protozoa, flagelata, amuba, dan mikroba, serta kandungan N dan P lebih tinggi dibanding tanah di luar liang. Benang-benang hifa dari jamur benang (fungi) juga dapat memperkuat ikatan antarpartikel tanah, sehingga tahan terhadap gerusan erosi ataupun tekanan fisik lainnya.

Pelepasan C-organik melalui ekskresi mucus dari permukaan tubuh dan kotoran cacing tanah berkisar antara 0,2–0,5% dari total biomassa cacing tanah (Scheu 1991). Cacing tanah geofagus dapat mencerna bahan organik dalam spektrum yang luas (fraksi ringan sampai berat) dan 10–19% terasimilasi dalam biomassa dan sisanya dilepaskan melalui kotoran atau kascing (Lavelle dan Barois 1988). Kascing merupakan makroagregat stabil yang dapat bertahan lebih dari 1 tahun (Blanchart *et al.* 1991 dalam Martin 1991). Kandungan C-organik pada kascing dua kali lebih tinggi pada lapisan 0–5 cm dan tiga kali lebih tinggi pada lapisan 5–10 cm dibanding tanah di sekitarnya. Laju mineralisasi C dari kotoran cacing tanah *Millsonia anomala* (*tropical geophagous earthworm*) di laboratorium empat kali lebih rendah (3%/tahun) dibanding pada di tanah kontrol (11%/tahun) (Martin 1991). Dalam jangka panjang, *M. anomala* dapat menghambat penurunan C-organik tanah karena C-organik terlindung dalam kascing yang padat dan hidrofobik.

Dekomposisi bahan organik yang lambat, erosi tanah yang rendah, adanya pasokan C-organik dari biomassa tanaman maupun dari eksudat organisme tanah, dan tingginya efisiensi penggunaan C-organik oleh organisme tanah berperan penting dalam menjaga kelestarian bahan organik di dalam tanah (Monreal *et al.* 1997). Tingginya kandungan C-organik tanah di daerah tropis basah dapat mendukung kelanggengan fungsi bahan organik untuk meningkatkan produktivitas tanah. Dengan kemampuannya menekan laju dekomposisi bahan organik, cacing tanah endogaesis dapat mencegah penyusutan bahan organik tanah. Perpanjangan daur energi dan hara merupakan langkah penting untuk mendukung pengembangan pertanian ramah lingkungan. Fauna tanah yang berperan sebagai detritivora maupun karnivora

Tabel 3. Populasi fauna tanah pada lahan bekas penambangan pasir sistem terbuka di Desa Ciasem, Sumedang.

Tipologi lahan	Karakteristik tanah	Jenis fauna tanah (individu/m ²) ¹						
		1	2	3	4	5	6	7
Lahan bekas penambangan belum reklamasi	Lapisan atas berbatu dan <i>top soil</i> tidak ada, lahan datar	5	3	2	-	-	-	-
Lahan sawah (2 tahun reklamasi)	Solum tanah <10 cm, tanah urugan, lahan datar	41	4	7	150	400	-	-
Lahan buah naga (5 tahun reklamasi)	Lapisan atas berbatu dan <i>top soil</i> tidak ada, pupuk kandang di sekitar pertanaman, lahan datar	45	100	6	90	> 1.000	4	-
Kebun tomat (<i>virgin soil</i>)	Solum tanah 40 cm, Inceptisol, lereng > 30%	> 200	> 100	> 100	900	> 1.000	157	4

¹1 = semut merah kecil (Hymenoptera), 2 = semut hitam kecil (Hymenoptera), 3 = semut hitam besar (Hymenoptera), 4 = Colembola, 5 = nematoda, 6 = cacing tanah (*Pheretima* sp.), 7 = uret (Coleoptera).

Sumber: Subowo *et al.* (2012).

termasuk cacing tanah endogaesis pada lahan pertanian intensif serta pemberian bahan organik dapat memperbaiki kesuburan tanah dan meningkatkan produksi pertanian yang mandiri dan ramah lingkungan. Spain *et al.* (1992) dalam Lavelle *et al.* (1992) menyatakan, cacing tanah geofagus dapat memperbaiki pertumbuhan tanaman budi daya di kawasan tropis.

INDIKATOR PENGEMBANGAN PERTANIAN RAMAH LINGKUNGAN

Degradasi lahan pertanian akibat tingginya laju pelapukan, erosi tanah, intensitas tanam, pengolahan tanah, aplikasi pupuk anorganik, produksi tinggi tanpa pengembalian bahan organik yang cukup, dan merosotnya populasi fauna tanah menyebabkan sistem produksi pertanian menjadi mahal dan laju peningkatan produksi semakin menurun meskipun pemberian pupuk makin meningkat. Untuk meningkatkan produksi pangan, dilakukan perluasan area tanam (ekstensifikasi) termasuk pada area yang tidak sesuai sehingga memerlukan investasi yang besar. Pengelolaan sistem usaha tani yang tidak terkendali berisiko memicu terjadinya gangguan lingkungan, seperti ledakan hama-penyakit, banjir dan tanah longsor, pencemaran lingkungan maupun kontaminasi bahan kimia pada produk pertanian. Oleh karena itu, pemulihan fauna tanah yang berperan penting dalam daur hara dan energi tanah merupakan langkah awal penting dalam upaya konservasi C-organik tanah dan perbaikan sifat fisik tanah.

Penggunaan lahan sesuai dengan peruntukan pada tingkat produktivitas sedang (*moderate*) perlu dilakukan agar sistem produksi efektif, lestari, dan ramah lingkungan. Upaya ini perlu dibarengi dengan menjaga neraca hara yang seimbang, menekan erosi tanah di bawah *tolerable soil loss* (TSL), mengurangi emisi CO₂ agar tidak

melebihi ambang emisi kondisi alami, mencegah ledakan hama penyakit dengan menerapkan pengendalian hayati, mencegah kontaminasi bahan kimia pada produk pertanian (termasuk hasil samping), dan mempertahankan keberadaan pelaku daur hara dan energi pada ekosistem tanah (produsen, konsumen, dan pengurai). Upaya tersebut diharapkan dapat meminimalkan gangguan lingkungan dan perubahan yang ekstrem pada tatanan sosial. Oleh karena itu, agar sistem usaha tani lestari dan ramah lingkungan, indikator-indikator lingkungan tersebut perlu diperhatikan dan dikendalikan.

KESIMPULAN

Kawasan tropis basah memiliki laju pelapukan dan pencucian hara yang intensif, sehingga perlu dikembangkan pertanian mandiri dan ramah lingkungan. Hara N banyak tercuci dan P tersemat oleh oksida logam, miskin fauna tanah, dan dekomposisi bahan organik didominasi oleh mikroba tanah. Pemberian bahan organik secara vertikal ke dalam tanah dapat menarik fauna tanah dari kelompok penggali liang tanah (*burrower*) sehingga memperbaiki aerasi dan agregat tanah dan meningkatkan ketebalan lapisan olah.

Sistem pertanian lestari ramah lingkungan dapat dicapai melalui penambahan bahan organik dengan jenis, dosis, dan penempatan yang sesuai; penggunaan lahan sesuai daya dukungnya; neraca hara seimbang; erosi tanah pada level di bawah *tolerable soil loss*; emisi CO₂ tidak melebihi ambang batas kondisi alaminya; pengendalian hama-penyakit secara hayati; cemaran polutan pada produk (termasuk hasil samping) di bawah ambang batas; pelaku daur ekosistem tanah lengkap (produsen, konsumen, dan pengurai); dan tidak terjadi gangguan lingkungan. Penggunaan pupuk anorganik, pupuk organik, dan pupuk hayati secara terpadu, menghindari

penggunaan pestisida sintetis, dan menjaga populasi fauna tanah, termasuk cacing tanah *endogaesis* merupakan indikator pertanian ramah lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adiningsih, S. 1984. Pengaruh beberapa faktor terhadap penyediaan K tanah sawah daerah Sukabumi dan Bogor. Disertasi, Fakultas Pascasarjana Institut Pertanian Bogor.
- Colleman, D.C. and D.A. Crossley, Jr. 1996. *Fundamentals of Soil Ecology*. Academic Press, San Diego, New York, Boston, London, Sydney, Tokyo, Toronto. 205 pp.
- Erfandi, D., U. Kurnia, dan J. Juarsah. 2004. Pemanfaatan bahan organik dalam perbaikan sifat fisik dan kimia tanah Ultisols. Prosiding Seminar Nasional Pendayagunaan Tanah Masam, Buku II. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, Bogor. hlm. 77–85.
- Estrade, J.R., C. Anger, M. Bertrand, and G. Richard. 2010. Tillage and soil ecology: Partners for sustainable agriculture. *Soil Tillage Res.* 111(2010): 33–40. www.elsevier.com/locate/still.
- Hamim, N. Rachmania, I.H. Soemantri, dan N. Sumarni. 2009. Pengaruh pupuk biologi terhadap pola serapan hara, ketahanan penyakit, produksi dan kualitas hasil tanaman pangan dan sayuran. Ringkasan Eksekutif Hasil-hasil Penelitian Kerja Sama Kemitraan Penelitian Pertanian dengan Perguruan Tinggi. 54 hlm.
- Hattori, T. 1973. *Microbial Life in Soil*. Marcell Dekker, New York.
- Hindersah, R., A.P. Hidayat, dan M. Arifin. 2009. Pengaruh inokulasi *Azotobacter* terhadap produksi dan kandungan kadmium tajuk selada yang ditanam di Andisol terkontaminasi kadmium. *J. Agrikultura* 20(3): 171–175.
- Horman, J.J. and R. Islam. 2010. *Understanding Soil Microbes and Nutrient Recycling*. Agricultural and Natural Resources, The Ohio State University. 5 pp.
- Lal, R. 1995. *Sustainable Management of Soil Resources in the Humid Tropics*. United Nations University Press, Tokyo, New York, Paris. pp. 25–29.
- Las, I. dan D. Setiorini. 2010. Kondisi lahan, teknologi, arah dan pengembangan pupuk majemuk NPK dan pupuk organik. Seminar Nasional Peranan Pupuk NPK dan Organik dalam Meningkatkan Produksi dan Swasembada Beras Berkelanjutan. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian, Bogor, 24 Februari 2010. 47 hlm.
- Lavelle, P. and I. Barois. 1988. Potential use of earthworms in tropical soils. In Edward and Neuhauser (Eds.). *Earthworm in Waste and Environmental Management*. SPB Academic Publishing, The Hague, The Netherlands. pp. 273–279.
- Lavelle, P., G. Melendez, B. Pashanasi, and R. Achafer. 1992. Nitrogen mineralization and reorganization in cast of geofagous tropical earthworm *Pontoscolex corethrurus* (Glossocolecidae). *Biol. Fertil. Soils* 14: 49–53.
- Linquist, B.A., P.W. Singleton, R.S. Yost, and K.G. Cassman. 1997. Aggregate size effects on the sorption and release of phosphorous in an Ultisol. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61: 160–166.
- Martin, A. 1991. Short and longterm effects of the endogeic earthworm *Millsionia anomala* (Omodeo) (Megascoclecidae, Oligochaeta) of tropical savanna, on soil organic matter. *Biol. Fertil. Soils* 11: 234–238.
- McCredie, T.A., C.A. Parker, and I. Abbott. 1992. Population dynamic of the earthworm *Aporrectodea tropezoides* (Annelida: Lumbricidae) in Western Australia pasture soil. *Biol. Fertil. Soils* 12: 285–289.
- Monreal, C.M., R.P. Zentner, and J.A. Robertson. 1997. An analysis of soil organic matter dynamics in relation to management, erosion and yield of wheat in longterm crop rotation plots. *Can. J. Soil. Sci.* 77(4): 553–563.
- Reddy, M.V., V.P.K. Kumar, V.R. Reddy, P. Balashouri, D.F. Yule, A.L. Cogle, and L.S. Jangawad. 1995. *Earthworm biomass response to soil management in semiarid tropical Alfisols agroecosystems*. *Biol. Fertil. Soils* 19: 317–321.
- Sanchez, P.A. 1976. *Properties and Management of Soils in the Tropics*. A Wiley-Interscience Publication. John Wiley and Sons, New York, London, Sydney, Toronto.
- Scheu, S. 1991. Mucus excretion and carbon turnover of endogeic earthworms. *Biol. Fertil. Soils* 12: 217–220.
- Scholes, M.C., M.J. Swift, O.W. Heal, P.A. Sanchez, J.S. Ingram, and R. Dalal. 1994. Soil fertility research in response to the demand for sustainability. In P.L. Woomer and M.J. Swift (Eds.). *The Biological Management of Tropical Soil Fertility*. John Wiley & Sons Pub. pp. 1–15.
- Stork, N.E. and P. Eggleton. 1992. Invertebrates as determinants and indicators of soil quality. *Am. J. Alternative Agric.* 7(1 and 2): 38–47.
- Subowo, M. Suhardjo, dan H. Suwardjo. 1988. Pengaruh humus hutan dan pestisida tanah terhadap pemulihan kesuburan tanah rusak akibat pembukaan lahan secara mekanis. Laporan Hasil Penelitian Pascapembukaan Lahan Menunjang Transmigrasi di Kuamang Kuning, Jambi. Pusat Penelitian Tanah, Bogor. hlm. 37–45.
- Subowo, 2002. Pemanfaatan cacing tanah (*Pheretima hupiensis*) untuk meningkatkan produktivitas Ultisols lahan kering. Disertasi. Program Pascasarjana Institut Pertanian Bogor.
- Subowo, E.K. Anwar, J. Purwani, dan R. Nurlaili. 2011. Penelitian dan pengembangan potensi sumber daya hayati tanah untuk perbaikan produktivitas tanah dan peningkatan efisiensi pemupukan. Laporan Akhir Penelitian. Balai Penelitian Tanah, Bogor.
- Subowo. 2012. Pemberdayaan sumber daya hayati tanah untuk rehabilitasi tanah Ultisol terdegradasi. *Jurnal Sumberdaya Lahan* 6(2): 79–88.
- Subowo, E.K. Anwar, dan J. Purwani. 2012. Penelitian sumber daya hayati tanah untuk peningkatan efisiensi pemupukan dan perbaikan produktivitas tanah Laporan Akhir Penelitian. Balai Penelitian Tanah, Bogor.
- Sudriatna dan Subowo. 2007. Tanggap kacang hijau terhadap sisa bahan amelioran pada tanah Inceptisols dan Alfisols. Seminar Nasional Hasil-hasil Penelitian dan Pengkajian Teknologi Pertanian, Palembang, 26–27 Juli 2006. 12 hlm.
- Suhartatik, E., Surachmat, C. Suwangsih, dan Mukhlis. 1992. Pengaruh residu pupuk nitrogen dan pupuk organik terhadap pertumbuhan dan hasil kedelai di lahan sawah. Prosiding Seminar Hasil Penelitian Tanaman Pangan Balittan Bogor 1: 191–200.
- Swift, M.J., O.W. Heal, and J.M. Anderson. 1979. *Decomposition in Terrestrial Ecosystem*. Blackwell, Oxford.
- Tiunov, A.V., M. Bonkowski, J. Alpei, and S. Scheu. 2001. Microflora, protozoa, nematode in *Lumbricus terrestris* burrow walls: a laboratory experiment. *Pedobiologia* 45: 46–60.
- Vidyarthi, G.S. and R.V. Misra. 1982. The role and importance of organic materials and biological nitrogen fixation in rational improvement of agricultural production. *FAO Soils Bull.* No. 45.
- Wallwork, J.A. 1970. *Ecology of Soil Animals*. McGraw-Hill, London, New York, Sydney, Toronto, Mexico, Johannesburg, Panama.
- Wambeke, A.V. 1992. *Soils of the Tropics: Properties and Appraisal*. McGraw-Hill, Inc.
- Williams, C.N. and K.T. Joseph. 1976. *Climate Soil and Crop Production in Humic-Tropics*. Oxford University Press, London.